Щокін В.П. **Україна**

Криворізький технічний університет

АНАЛІТИЧНИЙ СИНТЕЗ ТА МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ САК

Проведений аналіз характеристик і показників якості систем автоматичного керування (САК) побудованих на базі традиційних нейромережевих структур [1] дозволив зробити висновок про необхідність розробки методів, пов'язаних з удосконаленням адаптивних властивостей інтелектуальних блоків (ІБ), оскільки застосування відомих адаптивних алгоритмів [2, 3, 4] не забезпечує можливість проводити ефективну структурну і параметричну оптимізацію інформаційної бази структури в режимі реального часу.

З урахуванням вищевикладеного слід зазначити, що питання синтезу адаптивної нейроморфної структури САК на даний час не вирішено. Відомі розробки адаптаційних алгоритмів [4, 5] функціонують у режимі накопичення похибки і є доволі складними з точки зору реалізації на базі мікропроцесорних пристроїв.

З метою вирішення задач аналітичного дослідження САК з ІБ розглянемо еквівалентування нелінійних імпульсних та інтелектуальних САК, що дозволило [6] розробити методику оцінки якості регулювання.

Аналіз останніх розробок у галузі автоматизації показав, що практично всі універсальні методи дослідження якості функціонування САК зводяться до чотирьох підходів: перший метод Ляпунова; другий (прямий) метод Ляпунова; метод гармонічної лінеаризації; метод Попова, геометричний критерій сталості, критерій Ципкіна. Однак питання аналітичного дослідження САК багатозв'язаними об'єктами з ІБ не розглядалося.

Відомо, що дискретно-неперервні фільтри виконують над вхідними змінними операції зсуву та зважування. Рівняння дискретно-неперервного фільтра прийнято визначати у такій формі:

$$u(t) = \sum_{k=0}^{N} \beta_k y(t-kT) - \sum_{k=1}^{N} \alpha_k u(t-kT) \ , \tag{1}$$

де $y(t)$ – вхідний сигнал, $u(t)$ – вихідний сигнал, $\beta_k (k = 0,1,2,...,N)$ та $\alpha_k (k = 0,1,2,...,N)$ – вагові коефіцієнти вхідних та вихідних змінних відповідно.

Рівняння (1) представляє різницеве рівняння ADL(p,q)-моделі, яка в операторній формі матиме вид:

$$y_i = \alpha + Bf(B) y_i + g(B) x_i + \varepsilon_i \ , \tag{2}$$

Різницеве рівняння (2) характеризує авторегресійні процеси (AR(p) -модель з розподіленим лагом критеріального параметра) з ковзним середнім (MA(q)-модель з розподіленим лагом регресора).

Запишемо дискретну ARMA-модель з розподіленим лагом порядку (0,q) (MA(q)) для еталонного значення $y^*(t)$ вихідної координати об'єкта керування $y(t)$ (desired):

$$y^*[i] = \alpha + \sum_{j=0}^{q} \gamma_j x[i-j] + \varepsilon[i] \, . \tag{3}$$

Кінцева різниця порядку *m* має вид:

$$\Delta^m y[i] = \mu(1-B)^m = \mu\left(\Delta^{m-1} y^*[i] - \Delta^{m-1} y[i-1]\right), \ i = 0...n-m \, , \tag{4}$$

де μ – коефіцієнт регуляризації ARMABIS-структури.

Виключивши з (3) еталонну величину $y^*(t)$, отримаємо [6] дискретні адаптивні структури моделей ADL(p,q), що характеризують адаптивні ARMA-процеси (ARMABIS-процеси):

$$y[i] = \mu \sum_{j=0}^{q} \gamma_j x[i-j] + (1-\mu) \cdot \left(\left[\sum_{j=1}^{p-1} (-1)^{j+1} \cdot p \cdot y[i-j] \right] + (-1)^{p+1} \cdot y[i-p] \right) + \mu\varepsilon[i]. \tag{5}$$

З метою надання адаптивних властивостей ADL-моделям розроблено [6] метод адаптації вагових коефіцієнтів $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2 ... \gamma_n$ на базі модифікованого градієнтного методу мінімізації квадратичного функціонала:

$$J(\varepsilon_u) = 0,5 \varepsilon_u^T \varepsilon_u \ . \tag{6}$$

При цьому адаптація вагових коефіцієнтів моделі (5) на кроці [i+1] проводиться відповідно до шаблону:

$$\gamma_j[i+1] = \gamma_j[i] - hq^{(i-j)}[i] \Lambda^{(j)}[i] \, , \tag{7}$$

де $q^{(i-j)}$ – розподілений лаг регресора, h - швидкість настроювання,

$$\Lambda^{(j)}[i] = col\left(\frac{\partial J}{\partial q_1^{(i-j)}}, ..., \frac{\partial J}{\partial q_{n_j}^{(i-j)}} \right) = -\varepsilon_u[i] \, , \tag{8}$$

отже,

$$\gamma_j[i] = \gamma_j[i-1] + h \cdot \varepsilon_u[i] \cdot q[i-j-1] \, , \ j = 0,1 ... \ell, \lambda > 0 \, . \tag{9}$$

Адаптаційна помилка $\varepsilon_u[i]$ визначається як різниця еталонного значення і фактичного виходу моделі.

Адаптивна модель з розподіленим лагом ADL(p,q) (5) може бути представлена в формі різницевого рівняння шляхом перетворення загальної форми рівняння в кінцевих різницях

$$a_p y[i] = d_o \Delta^q \zeta[i] + d_1 \Delta^{q-1} \zeta[i] + \ldots + d_q \zeta[i] - a_1 \Delta^{p-1} y[i] - \ldots - a_0 \Delta^p y[i] + \nu\varepsilon[i], \quad (10)$$

$$c_0 y[i+p] = b_o \zeta[i+q] + b_1 \zeta[i+q-1] + ..+ b_q \zeta[i] - c_1 y[i+p-1] - ..c_p y[i] + \nu\varepsilon[i], \quad (11)$$

або

$$c_0 y[i] = b_o \zeta[i+q-p] + b_1 \zeta[i+q-1-p] + ..+ b_m \zeta[i-p] - c_1 y[i-1] - ..- c_n y[i-p] + \nu\varepsilon[i]. \quad (12)$$

Загальний шаблон різницевого рівняння (12) дозволяє записати рівняння ARMABIS-моделі ADL(p,q) з урахуванням прийняття в якості регресора вхідної координати x:

$$y[i] - (1-\mu)\left(\sum_{j=1}^{p-1} (-1)^{j+1} \cdot p \cdot y[i-j]\right) - (1-\mu)\cdot(-1)^{p+1} \cdot y[i-p] = \mu \sum_{j=0}^{q} \gamma_j x[i-j] + \mu\varepsilon[i]. \quad (13)$$

В даному випадку характеристичне рівняння ARMABIS -моделі ADL(p,q) матиме вид:

$$y[i] - (1-\mu)\left(\sum_{j=1}^{p-1} (-1)^{j+1} \cdot p \cdot y[i-j]\right) - (1-\mu)\cdot(-1)^{p+1} \cdot y[i-p] = 0. \quad (14)$$

З метою розробки методу аналітичного розв’язку рівнянь ARMABIS-структур застосовано [6] z-перетворення до обох частин основного рівняння адаптивної структури моделі ADL (1,1) (15) з урахуванням сталого режиму та зсуву функції *y(i-p)* ⇔ *zp Y(z)*:

$$y[i] - (1-\mu) y[i-1] = \mu\gamma_0 x[i] + \mu\gamma_1 x[i-1] + \mu\varepsilon[i], \quad (15)$$

$$Y(z)\left(1-(1-\mu)z^1\right) = X(z)\mu \sum_{q=0}^{1} b_q z^q, \quad (16)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\mu \sum_{q=0}^{1} b_q z^q}{1+(1-\mu)z^1}. \quad (17)$$

У разі узагальнення наведеного методу передаточна функція ARMABIS-структури матиме вид:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\mu \sum_{q=0}^{Q} b_q z^q}{1-(1-\mu)\cdot\left(\left[\sum_{p=1}^{P-1} (-1)^{p+1} \cdot p \cdot z^p\right] + (-1)^{p+1} \cdot z^p\right)}. \quad (18)$$

У даному випадку при дії на вході імпульсу Кронекера δ_0, з z-образом $\delta(z) = z^n = 1$, сигнал на виході буде мати вид імпульсної реакції $y(i) \equiv h(i)$:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{\delta(z)} = Y(z) = \mu \sum_{i=0}^{Q} h(i) z^i. \quad (19)$$

Тобто передаточна функція ARMABIS-структури є z-образом її імпульсної реакції.

Висновки. Розроблена ARMABIS-модель за структурою ADL(p,q) володіє адаптивними властивостями за рахунок настроювання вагових коефіцієнтів регресійного лага на базі модифікованого градієнтного методу мінімізації квадратичного функціонала (6), а умова стійкості забезпечується настроюванням вагових коефіцієнтів критеріального лага відповідно до умови, яка визначається класичними методами на базі аналізу характеристичного рівняння (14). Передаточні функції ARMABIS-структур можуть бути представлені ступеневим поліномом прямим діленням чисельника на знаменник правої частини передаточної функції (18).

ЛИТЕРАТУРА

1. Розроблення методології синтезу та обґрунтування доцільності впровадження інтелектуальних гібридних систем автоматичного управління технологічними процесами на основі нейромережевих структур та методів нечіткої логіки: Звіт з НДДКР (відп. вик. Щокін В.П.)/ Криворізький технічний університет. – 5.04.3 № ДР0104u004720. – Кр. Ріг, 2005.-250 с.

2. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления / Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. – М.: ІПРЖР, 2002.-Кн.8. -650с.

3. Омату С. Нейроуправление и его применение / Омату С., Халид М., Юсоф Р. – М.: ИПРЖР, 2000.- Кн.2. – 460с.

4. Макаров И.М. Интеллектуальные системы автоматического управления / И.Макаров, В.М.Лохин. – М.: Физматлит, 2001. -340с.

5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. / Осовский С. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 343с.

6. Щокін В.П. Інтелектуальні системи керування: аналітичний синтез та методи дослідження / Щокін В.П. – Кривий Ріг: ФОП Щербатих Д.О., 2010.-267с.